

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАТЕМАТИЧНИХ МАШИН І СИСТЕМ**

СТРЕЛЬНИКОВ ПАВЛО ВАЛЕРІЙОВИЧ



УДК 681.32.019.3

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ МАЛОЇ
СТАТИСТИКИ ВІДМОВ**

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Київ – 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті проблем математичних машин і систем Національної академії наук України

Науковий керівник доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Федухін Олександр Вікторович,
Інститут проблем математичних машин і систем
НАН України,
завідувач відділу логічного синтезу високопродуктивних
комплексів і систем спеціального призначення

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Литвинов Віталій Васильович,
Чернігівський національний технологічний університет
МОН України,
завідувач кафедри програмної інженерії

кандидат технічних наук, доцент
Грібов Віктор Михайлович,
Національний авіаційний університет МОН України,
професор кафедри авіоніки

Захист відбудеться «11» листопада 2015 р. о 16 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.204.01 в Інституті проблем математичних машин і систем НАН України за адресою: 03187, Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 42.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту проблем математичних машин і систем НАН України за адресою: 03187, Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 42.

Автореферат розісланий «09» жовтня 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.І. Ходак

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Створення високопродуктивних і високонадійних інформаційних систем на основі новітніх досягнень мікроелектронної технології, останніх результатів у галузі теорії та практиці надійності вимагає розробки нових підходів до проектування сучасних інформаційно-управляючих систем і комплексів, в яких питання забезпечення надійності набувають першорядного значення.

У загальній проблемі забезпечення надійності важливим є експериментальна оцінка показників надійності, тобто підтвердження рівня надійності того, що заплановано під час проектування за результатами випробувань або експлуатації. На практиці, як при випробуваннях, так і в умовах експлуатації, доводиться визначати показники надійності при обмеженому (малому) обсязі випробувань. При цьому існуючі методи призводять до низької достовірності цих оцінок.

Проблемам експериментальної оцінки надійності найрізноманітніших об'єктів в умовах малої статистики відмов присвячені роботи Аронова І.З., Беляєва Ю.К., Гаскарова Д.В., Дзіркала Е.В., Зареніна Ю.Г., Лейфера Л.А., Стрельнікова В.П., Судакова Р.С., Тескіна О.І., Федухіна О.В., а також зарубіжних вчених Вальда А., Закса Ш., Халдена А. та ін.

Необхідно відзначити, що вирішення завдань оцінки показників надійності в умовах обмеженого обсягу статистичних даних про відмови на основі ймовірнісно-фізичної теорії надійності, розробленої в Інституті проблем математичних машин і систем НАНУ д.т.н. Стрельніковим В.П., є найбільш прогресивним підходом до вирішення поставлених завдань, оскільки при цьому можна ефективно використовувати додаткову апріорну інформацію про процеси деградації, які призводять до відмов.

Наведене вище показує необхідність розробки методів оцінки технічного стану та прогнозування надійності обладнання інформаційних систем з урахуванням як статистичних даних про відмови, так і всієї наявної апріорної інформації про фізичні процеси деградації, що призводять до відмов елементів і систем, з метою підвищення точності і достовірності оцінок показників надійності при обмеженому обсязі випробувань (спостережень).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні дослідження за темою дисертації проводилися відповідно до плану фундаментально-прикладних наукових досліджень, які здійснюються в Інституті проблем математичних машин і систем Національної академії наук України і увійшли в науково-дослідну роботу «Розробка ймовірнісно-фізичних методів оцінки надійності та ефективності складних систем» (державний реєстраційний номер 0105U000288, шифр НДР "Надійність", період виконання НДР 2005–2008 рр.).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка методів оцінки технічного стану та прогнозування показників надійності обладнання інформаційних систем в умовах малої статистики відмов на основі ймовірнісно-фізичного підходу з використанням апріорної інформації про фізичні процеси деградації даних технічних об'єктів.

Відповідно до мети мають бути вирішені такі основні задачі дослідження:

1. Дослідження та аналіз сучасних методів експериментальної оцінки надійності технічних об'єктів.

2. Вибір теоретичних функцій розподілу відмов, найбільш придатних для вирішення основного поставленого завдання.

3. Розробка методів планування та обробки результатів випробувань на надійність в умовах малої статистики відмов.

4. Розробка методів обробки результатів випробувань на надійність в умовах відсутності статистики відмов.

5. Статистичне дослідження працездатності та ефективності розроблених методів.

6. Створення програмного забезпечення для зручності використання розроблених методів.

Об'єкт дослідження – процеси дослідження надійності обладнання інформаційних систем.

Предмет дослідження є методи планування випробувань і методи обробки результатів випробувань обладнання інформаційних систем.

Методи дослідження базуються на використанні теорії надійності, теорії ймовірностей і математичної статистики, теорії випадкових процесів, теорії імітаційного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів

Вперше:

- Розроблено методи оцінювання середнього напрацювання до відмови (на відмову), за допомогою яких можна визначити приймальний і бракувальний рівні контрольованого показника надійності, визначити відносну помилку для прийнятого значення довірчої імовірності (або ризиків) в умовах малої статистики відмов при проведенні запланованих випробувань і без попереднього планування випробувань (спостережень).

- Розроблено метод оцінки показників надійності за відсутності відмов при випробуванні (спостереженні) сукупності ідентичних зразків.

Удосконалено:

- Методи оцінювання показників надійності за наявності одиничних відмов для різних планів випробувань (спостережень), що передбачають як одноразове, так і багаторазове цензурування статистичних даних про відмови як для електротехнічних, так і механічних виробів.

Набули подальшого розвитку:

- Ймовірно-фізичний підхід до оцінки надійності та вперше розроблено методи оцінювання показників надійності об'єктів в умовах малої статистики та відсутності відмов, коли виключно статистичні методи незастосовні.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені методи доведені до практичного застосування у вигляді Методики планування та оцінювання показників надійності засобів обчислювальної техніки під час сертифікаційних випробувань (затверджено ТКС України-68), впроваджено на підприємствах-виробниках обладнання інформаційних систем (ТОВ «Бест Вей», ТОВ «Еверест – системна інтеграція»).

Практична цінність результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що розроблені методи оцінки показників надійності за результатами випробувань і (або) спостережень за об'єктами в процесі експлуатації, які приводять до підвищення точності оцінок показників надійності для заданих вимог щодо достовірності (довірчої імовірності й відносної похибки оцінок) або до скорочення обсягу випробувань (кількості об'єктів) для заданих вимог щодо достовірності.

Особистий внесок здобувача. Усі результати, що виносяться до захисту, отримані особисто. У роботах [13–18] здобувачу належать всі теоретичні та практичні результати, крім постановки завдання.

Апробація результатів дисертації. Основні результати включені до дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на таких конференціях і семінарах:

– IX міжнародна науково-технічна конференція «Машинобудування і техносфера XXI століття» (м. Севастополь, 16–20 вересня 2002 р.);

– Міжнародна науково-технічна конференція «Системні проблеми якості, математичного моделювання, інформаційних, електронних та лазерних технологій» (Росія, м. Сочі, 1–12 жовтня 2002 р.);

– П'ята міжнародна науково-практична конференція «Дослідження, розробка і застосування високих технологій у промисловості» (Росія, м. Санкт-Петербург, 2008 р.);

– XV міжнародна науково-технічна конференція «Машинобудування і техносфера XXI століття» (м. Севастополь, 14–19 вересня 2008 р.);

– Міжнародна науково-технічна конференція «Системні проблеми надійності, якості, інформаційно-телекомунікаційних і електронних технологій в управлінні інноваційними проектами (Інноватика-2008)» (Росія, м. Сочі, 1–12 жовтня 2008 р.);

– Семінар Національної академії наук України "Якість, надійність і сертифікація технологій та засобів обчислювальної техніки і автоматизації" (Київ, 2007, 2008, 2009, 2010).

Публікації. Основні наукові результати дисертаційної роботи викладені в 18 публікаціях, у тому числі 11 статей у наукових фахових виданнях (з них 9 одноосібних), затверджених ВАК України, 1 стаття у міжнародному збірнику наукових праць, 6 тез у матеріалах міжнародних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел з 93 найменувань та трьох додатків. Повний обсяг дисертації становить 185 сторінок, у тому числі 141 сторінка основного тексту, 15 рисунків, 24 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** до дисертації обґрунтовується актуальність теми, визначаються мета і задачі дослідження, показані наукова новизна і практична цінність отриманих результатів. Вказані апробація та публікації з розкриттям особистого внеску здобувача.

У розділі 1 представлено аналіз сучасного стану проблеми дослідження надійності. Проведено аналіз існуючих методів і методів експериментальної оцінки показників надійності, який показав:

- використання непараметричного методу експериментальної оцінки показників надійності призводить до істотно більшої відносної помилки при тих самих вимогах по довірчій імовірності в порівнянні з використанням логарифмічно нормального і дифузійних розподілів;

- використання експоненціального розподілу призводить до великих похибок в оцінці показників надійності, а також до істотного збільшення обсягу випробувань в 1,5 і більше разів порівняно з використанням двопараметричних функцій розподілу напрацювання до відмови;

- при контрольних випробуваннях, так само, як і при визначальних випробуваннях, плани випробувань на основі дифузійних розподілів більш ефективні. Вони призводять до істотного скорочення обсягу випробувань для одних і тих же ризиків виробника та замовника (α, β).

Встановлено, що всі різноманітні закони розподілу напрацювання до відмови мають форми розподілу, які суттєво відрізняються (коефіцієнти варіації розподілів відмов можуть приймати значення від 0,2 до 1,5), краще, ніж інші двопараметричні функції (Вейбулла, логарифмічно нормальний, гамма-розподіл та ін.), вони описуються дифузійними розподілами. На рис. 1 показані типові криві щільності розподілу з різними коефіцієнтами варіації (від 0,2 до 1,2), які добре описуються, зокрема, DN -розподілом.

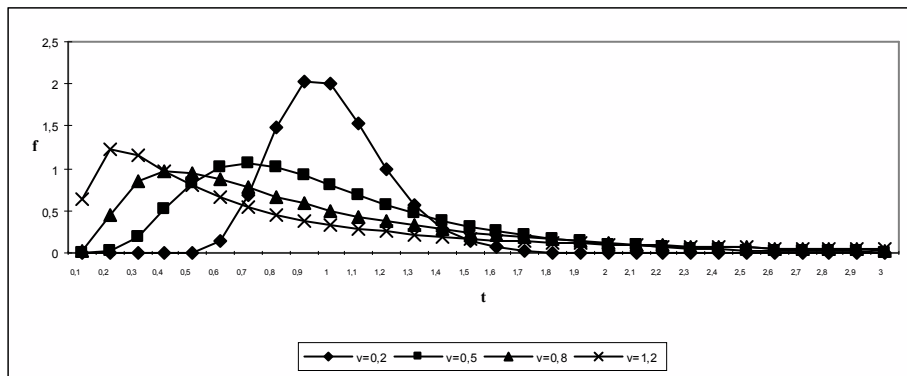


Рисунок 1 – Графіки щільностей розподілу напрацювання до відмови по DN -розподілу для різних значень коефіцієнта варіації

Відзначається, що застосування апарату більш адекватних двопараметричних моделей надійності в порівнянні з традиційним математичним апаратом, який базується на використанні тільки ймовірнісних розподілів (експоненційного, логарифмічно нормального, Вейбулла), приводить до підвищення точності оцінок показників надійності об'єктів (елементів, систем) при експериментальній оцінці надійності систем.

За результатами попередніх досліджень сформувався завдання розробки методів випробувань з метою оцінки показників надійності на основі ймовірнісно-фізичних моделей відмов (дифузійних розподілів) в умовах малої статистики відмов

на основі використання додаткової апріорної інформації про коефіцієнт варіації розподілу наробітку до відмови (на відмову), тобто розв'язання задачі оцінки показників надійності в умовах, коли двопараметричні, виключно імовірнісні моделі відмов (Вейбулла, логарифмічно нормальний та ін.) не працюють через малу статистику відмов, необхідну для оцінки двох параметрів.

У розділі 2 розроблено ряд методів оцінки показників надійності для різних планів випробувань (спостережень) в умовах малої статистики відмов та малого числа випробовуваних (спостережуваних) об'єктів.

Застосування двопараметричних ймовірнісно-фізичних моделей відмов (дифузійних розподілів) дозволяє, визначивши апріорі параметр форми дифузійних розподілів, перетворити двопараметричну функцію розподілу в однопараметричну функцію, яка при цьому має типову форму закону розподілу напрацювання до відмови – одномодальну криву з лівобічним зміщенням моди. На рис. 2 показані криві щільності однопараметричного експоненціального розподілу і однопараметричного DN -розподілу.

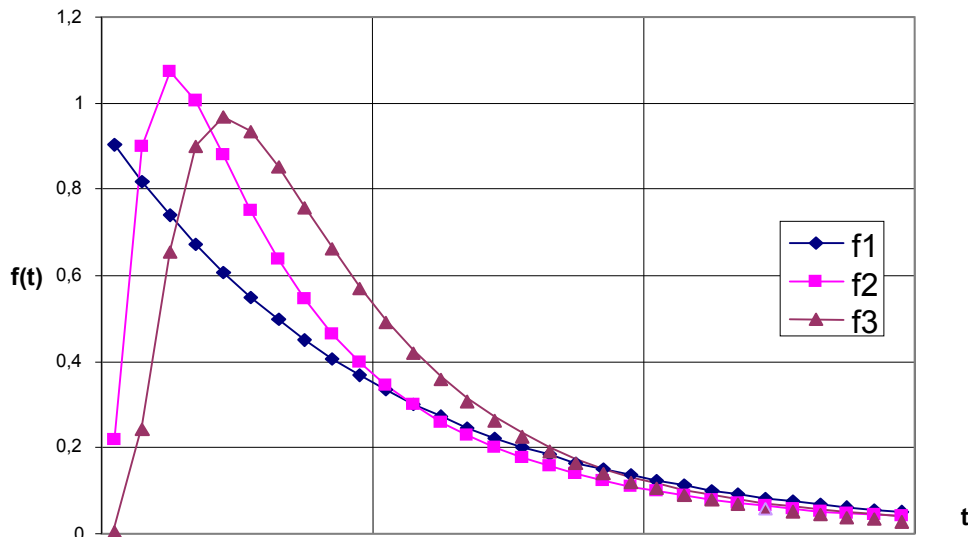


Рисунок 2 – Графіки густин розподілу наробітку до відмови (f_1 – експоненціальний розподіл; f_2 , f_3 – DN -розподіл, відповідно для коефіцієнта варіації, рівного 1 і 0.7)

Як видно з наведених на рисунку графіків щільності розподілу наробітку до відмови (прийнято умовно математичне очікування напрацювання до відмови, рівним одиниці) розбіжність між експоненціальним законом розподілу і DN -розподілом досить істотна. При цьому очевидно, що закон розподілу напрацювання до відмови для найбільш поширеного коефіцієнта варіації напрацювання (крива f_3) представляється найбільш реальним. Численні дослідження багатьох авторів підтверджують цей висновок.

Оцінювання показників надійності при одноразовому цензуруванні

На рис. 3 і 4 представлені діаграми реалізацій при планах випробувань (спостережень) $[NUr]$ і $[NUT]$, що призводять до однократного цензурування статистичних даних про відмови.

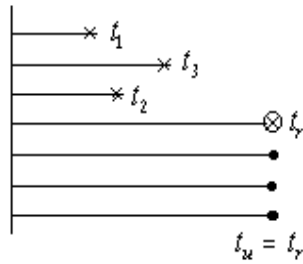


Рисунок 3 – План [NUr]

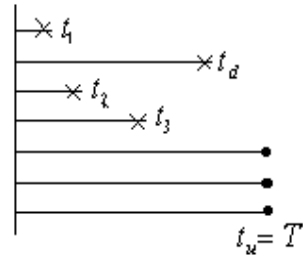


Рисунок 4 – План [NUT]

На діаграмах прийняті такі графічні позначення:

- x – повна реалізація (відмова);
- – неповна реалізація (призупинення);

⊗ – повна реалізація та припинення випробувань (спостережень), якщо випробування (спостереження) ведуться до фіксованого числа відмов r .

Згідно з рекомендаціями міждержавного стандарту як моделі відмов для електротехнічних виробів приймають DN -розподіл, а для механічних об'єктів – DM -розподіл.

При малому числі відмов ($r \leq 6, d \leq 6$) значення параметра форми ($\tilde{\nu}, \underline{\nu}, \bar{\nu}$) DN -розподілу визначають згідно з п.2.1.3 дисертації.

Визначення параметра масштабу DN -розподілу

За результатами спостережень формують варіаційний числовий ряд по неспаданню сумарних напрацювань до відмови (граничного стану): t_1, t_2, \dots, t_r (t_1, t_2, \dots, t_d). Обчислюють значення емпіричної функції розподілу напрацювання в кожен момент t_j варіаційного ряду ($F_j = j/N, j = 1, 2, \dots, m; m = r$ или $m = d$).

Обчислюють точкову оцінку параметра $\tilde{\mu}$, використовуючи наступну формулу оцінки параметра масштабу DN -розподілу

$$\tilde{\mu} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m t_j \left[x\left(\frac{j}{N}; \tilde{\nu}\right) \right]^{-1}. \quad (1)$$

Довірчі границі параметра масштабу ($\underline{\mu}, \bar{\mu}$) обчислюють за формулами

$$\underline{\mu} = \tilde{\mu} x\left(1 - q; \frac{\tilde{\nu}}{\sqrt{m}}\right), \quad \bar{\mu} = \tilde{\mu} x\left(q; \frac{\tilde{\nu}}{\sqrt{m}}\right) \quad (2)$$

де $m = r$ (r – число відмов при плані випробувань [NUr]) або $m = d$ (d – число відмов при плані випробувань [NUT]).

Значення величини $x(F; \nu)$ представляє собою відносне напрацювання при DN -розподілі для імовірності відмови F при коефіцієнті варіації напрацювання V . Його визначають за відповідними таблицями DN -розподілу або вирішуючи таке рівняння:

$$\Phi\left(\frac{x-1}{\nu\sqrt{x}}\right) + \exp\left(\frac{2}{\nu^2}\right) \cdot \Phi\left(-\frac{x+1}{\nu\sqrt{x}}\right) = F,$$

в якому $\Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^U \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy$ – функція нормованого нормального

розподілу. Визначивши оцінки параметрів $(\underline{\mu}, \tilde{\mu}, \bar{\mu}, \underline{\nu}, \tilde{\nu}, \bar{\nu})$, обчислюють точкові оцінки та довірчі межі відповідних показників надійності за формулами табл. 1.

Таблиця 1 – Формули для обчислення оцінок показників надійності при DN -розподілі

Оцінки	Середнє напрацювання (ресурс)	Гама-процентне напрацювання на відмову (ресурс)	Імовірність безвідмовної роботи за напрацюванням t
Точкова оцінка	$\tilde{\mu}$	$\tilde{\mu} x(1 - \gamma; \tilde{\nu})$	$\Phi\left(\frac{\tilde{\mu} - t}{\tilde{\nu} \sqrt{\tilde{\mu} t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\tilde{\nu}^2}\right) \Phi\left(-\frac{\tilde{\mu} + t}{\tilde{\nu} \sqrt{\tilde{\mu} t}}\right)$
НДГ рівня q	$\underline{\mu}$	$\underline{\mu} x(1 - \gamma; \bar{\nu})$	$\Phi\left(\frac{\underline{\mu} - t}{\bar{\nu} \sqrt{\underline{\mu} t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\bar{\nu}^2}\right) \Phi\left(-\frac{\underline{\mu} + t}{\bar{\nu} \sqrt{\underline{\mu} t}}\right)$
ВДГ рівня q	$\bar{\mu}$	$\bar{\mu} x(1 - \gamma; \underline{\nu})$	$\Phi\left(\frac{\bar{\mu} - t}{\underline{\nu} \sqrt{\bar{\mu} t}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\underline{\nu}^2}\right) \Phi\left(-\frac{\bar{\mu} + t}{\underline{\nu} \sqrt{\bar{\mu} t}}\right)$

Оцінювання показників надійності при багаторазовому цензуруванні

На рис. 5 і 6 представлені діаграми реалізацій при планах випробувань [NRr] і [NRT], що приводять до статистичних даних з багаторазовим цензуруванням.

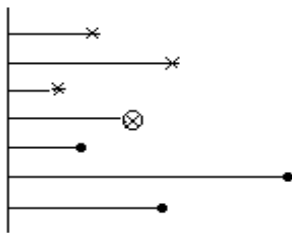


Рисунок 5 – План [NRr]

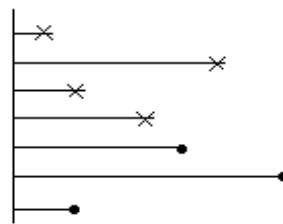


Рисунок 6 – План [NRT]

Параметр форми (коефіцієнт варіації напрацювання) визначають аналогічно попередньому випадку.

Визначення параметра масштабу μ DN -розподілу.

За результатами спостережень формують варіаційний числовий ряд по неубуванню сумарних напрацювань до відмови й до цензурування:

$(t_1, t_2, \dots, t_r, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n)$. Визначають значення емпіричної функції розподілу в кожен момент t_j (τ_j) варіаційного ряду за формулою

$$F_j = F_{j-1} + (1 - F_{j-1}) r_j \left[N + r - \sum_{i=1}^{j-1} (r_i + n_i) \right]^{-1},$$

де $r_{j(i)}, n_{j(i)}$ – відповідно число відмов (повних напрацювань) і число неповних напрацювань в j (i) інтервалі ($j=1, 2, \dots, w$), r – число заміненних зразків. Число інтервалів w і їх граничні значення приймають з міркувань зручності розрахунку.

Обчислюють точкову оцінку параметра масштабу $\tilde{\mu}$ в загальному випадку за формулою

$$\tilde{\mu} = \left[\sum_{j=1}^w k_j \right]^{-1} \sum_{j=1}^w k_j t_j [x(j/N; \tilde{\nu})]^{-1}, \quad (3)$$

де k_j – число співпадаючих напрацювань на j -ому інтервалі.

Довірчі границі параметра масштабу ($\underline{\mu}, \bar{\mu}$) обчислюють за формулами (2).

Точкові оцінки та довірчі межі відповідних показників надійності обчислюють згідно з табл. 1.

Оцінювання показників надійності при відсутності відмов (мала вибірка)

Оцінка показників надійності при одноразовому цензуруванні і відсутності відмов при використанні DN -розподілів.

У теорії біноміальної схеми випробувань із зупинкою в разі безвідмовних випробувань встановлено (зокрема, Клоппером і Пірсоном), що значення нижньої довірчої границі відсутності відмови при випробуванні N – кількості зразків може бути оцінена виразом

$$\underline{P}(t_u) = \left(\frac{1-q}{2} \right)^{1/N}. \quad (4)$$

Примітка. Згідно з відомим висновком у математичній статистиці (Фішер Р.), кількість зразків N у розглянутій ситуації безвідмовних випробувань повинна бути не менше 4. Інакше висновки за результатами випробувань можуть мати сильно зміщені оцінки.

Обчислюють нижню довірчу границю параметра масштабу $\underline{\mu}$ DN -розподілу, вирішуючи рівняння:

$$\underline{P}(t_u) = \Phi\left(\frac{\underline{\mu} - t_u}{\bar{v} \sqrt{\underline{\mu} t_u}}\right) - \exp\left(\frac{2}{\bar{v}^2}\right) \Phi\left(-\frac{\underline{\mu} + t_u}{\bar{v} \sqrt{\underline{\mu} t_u}}\right).$$

Використовуючи таблиці DN -розподілу, за якими встановленим способом (за значеннями $F = 1 - \underline{P}(t_u)$ і $v = \bar{v}$) визначають $x[1 - \underline{P}(t_u); \bar{v}]$, вираз для оцінки $\underline{\mu}$ можна записати в такому вигляді:

$$\underline{\mu} = \frac{t_u}{x[1 - \underline{P}(t_u); \bar{v}]} = t_u \cdot K_1^*(\underline{P}, \bar{v}),$$

де $K_1^*(\underline{P}, \bar{v})$ – поправковий коефіцієнт, що враховує емпіричну ймовірність відсутності відмови;

$x[\cdot]$ – відносне напрацювання по DN -розподілу, визначення якого зазначено вище.

Використовуючи значення $\underline{\mu}$, відповідне довірчій ймовірності q , отримують вибіркочну середню оцінку параметра $\tilde{\mu}$:

$$\tilde{\mu} = \frac{\underline{\mu}}{x(1 - q; \tilde{v})} = t_u \cdot K_1^*(\underline{P}, \bar{v}) \cdot K_2^*(q, \tilde{v})$$

де $K_2^*(q, \tilde{v})$ – поправочний коефіцієнт, що враховує вид розподілу і довірчу ймовірність оцінки параметра.

Оцінку верхньої довірчої границі параметра масштабу $\bar{\mu}$ обчислюють за формулою

$$\bar{\mu} = \tilde{\mu} x(q; \tilde{v}) = \tilde{\mu} \bar{K}_2^*(q, \tilde{v}).$$

Визначивши оцінки параметрів $(\underline{\mu}, \tilde{\mu}, \bar{\mu}, \underline{v}, \tilde{v}, \bar{v})$, обчислюють точкові оцінки та довірчі границі відповідних показників надійності згідно з табл. 1.

Планування випробувань

Для встановлених значень q, δ, v визначають необхідну кількість спостережуваних відмов:

$$r = \left(\frac{v U_q}{\delta}\right)^2 \frac{(1 + \sqrt{1 + \delta^2})}{2}. \quad (5)$$

Кількість зразків N , яку потрібно поставити на випробування, щоб забезпечити число r_{np} відмов, визначають за формулою

$$N = r_{np} \left[\Phi \left(\frac{t_u - T_{cp}}{v \sqrt{t_u T_{cp}}} \right) + \exp \left(\frac{2}{v^2} \right) \Phi \left(- \frac{t_u + T_{cp}}{v \sqrt{t_u T_{cp}}} \right) \right]^{-1}, \quad (6)$$

де T_{cp} – очікувана середня напрацювання до відмови (на відмову).

Обробка результатів випробувань і висновки щодо контролю показника надійності

По закінченні спостережень за результатами даних про відмови в залежності від плану випробувань (спостережень) визначають точкову оцінку \tilde{T}_{cp} . Бракувальний і приймальний рівні контролюваного показника з прийнятими ризиками α, β , як функції числа відмов r і експериментальної оцінки \tilde{T}_{cp} , у разі використання DN -розподілу, обчислюють за формулами

$$\tilde{T}_\alpha = \tilde{T}_{cp} \cdot x \left(1 - \alpha; \frac{v}{\sqrt{r}} \right), \quad \tilde{T}_\beta = \tilde{T}_{cp} \cdot x \left(\beta; \frac{v}{\sqrt{r}} \right).$$

Обробка результатів визначальних випробувань

По закінченні спостережень за результатами даних про відмови в залежності від плану випробувань (спостережень) визначають точкову оцінку \tilde{T}_{cp} .

Нижню і верхню довірчі границі обумовленого показника надійності до прийнятої ймовірністю q , як функції числа відмов r і досвідченої оцінки \tilde{T}_{cp} , у разі використання як теоретичного DN -розподілу, обчислюють за формулами

$$\underline{T}_{cp} = \tilde{T}_{cp} \cdot x \left(1 - q; \frac{v}{\sqrt{r}} \right), \quad \bar{T}_{cp} = \tilde{T}_{cp} \cdot x \left(q; \frac{v}{\sqrt{r}} \right).$$

Контроль і визначення середнього напрацювання без попереднього планування випробувань

Обсяг випробувань, який визначається організаційно-технічними міркуваннями, може бути невідомий заздалегідь. Так, при випробуваннях дослідних зразків контроль надійності може бути поєднаний з перевірками інших показників і проведений за даними, накопичений в ході цих перевірок. При контролі надійності в ході експлуатації об'єктів використовують випадкову величину – напрацювання контрольованих зразків за звітний період (квартал, рік). По закінченні спостережень за результатами даних про відмови в залежності від плану випробувань (спостережень) визначають точкову оцінку \tilde{T}_{cp} і довірчий інтервал $[\underline{T}_q(\tilde{T}_{cp}, r), \bar{T}_q(\tilde{T}_{cp}, r)]$. Поєднуючи одну з меж з T_α або T_β , отримують такі умови:

$$\begin{aligned} \underline{T}_q(\tilde{T}_{cp}, r) &= \tilde{T}_{cp} \cdot x\left(1-q; \frac{v}{\sqrt{r}}\right) = T_\beta, & T_\beta &= T_{cp} / \sqrt{D}, \\ \bar{T}_q(\tilde{T}_{cp}, r) &= \tilde{T}_{cp} \cdot x\left(q; \frac{v}{\sqrt{r}}\right) = T_\alpha, & T_\alpha &= T_{cp} \sqrt{D}. \end{aligned}$$

Для того, щоб визначити, за яких ймовірностей виконуються наведені умови, необхідно вирішити рівняння, що випливає з першої умови:

$$x\left(1-q; \frac{v}{\sqrt{r}}\right) = \frac{T_{cp}}{\tilde{T}_{cp} \sqrt{D}}.$$

На підставі значень $v^* = \frac{v}{\sqrt{r}}$ та $x = \frac{T_{cp}}{\tilde{T}_{cp} \sqrt{D}}$ з таблиць DN -розподілу визначають імовірність $F = 1 - q$, яку задовольняє вищенаведена умова.

Якщо обчислений довірчий інтервал, що співпадає із заданим інтервалом, задовольняє імовірності $q \geq 1 - \alpha = 1 - \beta$, то приймають рішення про відповідність контрольованого показника надійності заданим вимогам і визначають спостережувані ризики $\alpha = \beta = 1 - q$. Якщо обчислений довірчий інтервал задовольняє імовірності $q < 1 - \alpha = 1 - \beta$, то приймають рішення про невідповідність контрольованого показника надійності заданим вимогам. Прийнятий рівень довірчої імовірності q для обох кордонів однаковий: $q = 1 - \alpha = 1 - \beta$. Визначення точкової \tilde{T}_{cp} і граничних оцінок $(\underline{T}_{cp}, \bar{T}_{cp})$ середнього напрацювання до відмови (на відмову) проводиться у відповідності з попереднім пунктом.

Третій розділ присвячений статистичному моделюванню випробувань (малих вибірок відмов) з метою оцінки працездатності розроблених методів оцінки показників надійності як на основі реальних статистичних даних про відмови, так і шляхом моделювання малих вибірок за допомогою генератора випадкових чисел (напрацювань до відмови), розподілених за заданим законом розподілу.

Моделювання малих вибірок і оцінка середнього напрацювання до відмови на основі реальних експериментальних даних

Моделювання (формування) малих вибірок напрацювань до відмови проводилося методом Монте-Карло (з використанням таблиць випадкових чисел), тобто елементи з конкретними напрацюваннями до відмови випадковим чином вибиралися з однієї вибірки. На початку, у відповідності з прийнятим обсягом N випадкової вибірки, що витікає з конкретного плану випробувань, використовуючи таблицю рівнорозподілених чисел формують $X[N]$. Далі, у відповідності з номером $X[N]$, визначають значення напрацювання $T[N]$ з наведеного варіаційного ряду напрацювань до відмови. Таким чином, на підставі кожної вибірки було сформовано по сто малих вибірок, що містять по п'ять значень напрацювань. На підставі статистики відмов цих ста вибірок відомим чином визначалися основні вибіркові

(експериментальні) показники надійності елементів досліджуваного типу, зокрема, середнє напрацювання до відмови \tilde{T}_1 .

При моделюванні малих вибірок використовували відомі генеральні сукупності напрацювань до відмови (ресурсу), що мають різноманітні форми розподілів. Як елементи першого типу взяті зразки зі сплаву В-95: обсяг вибірки $N = 463$, середнє вибіркоче значення ресурсу $T_s = 169040$ *цикл*, коефіцієнт варіації ресурсу $\nu_s = 0,56$. Повний варіаційний ряд даної вибірки наведено в дисертації.

Як елементи другого типу взяті елементи індикації (лампи розжарювання СМН-9): обсяг вибірки $N = 504$, середнє вибіркоче значення ресурсу (наробітку до відмови) $T_s = 212626$ *цикл*, коефіцієнт варіації ресурсу $\nu_s = 0,73$. Гістограма даних напрацювань до відмови елементів індикації наведена на рис. 8.

Як елементи третього типу взяті блоки радіоапаратури, які були випробувані при відповідних умовах, і отримані такі результати: обсяг вибірки $N = 96$, середнє вибіркоче значення напрацювання до відмови блоків радіоапаратури $T_s = 1833$ *год*, коефіцієнт варіації напрацювання до відмови блоків радіоапаратури $\nu_s = 1,08$.

Результати моделювання на основі генеральних сукупностей реальних експериментальних даних

На підставі моделювання достатньо малих вибірок (по п'ять зразків або по п'ять напрацювань до відмови) з реальних, що істотно відрізняються одне від одного, генеральних сукупностей напрацювань до відмови (ресурсу), які мають коефіцієнти варіації розподілів ($\nu = 0,56$; $\nu = 0,73$; $\nu = 1,08$) і практично перекривають можливий діапазон видів розподілів, показано, що в такій ситуації з використанням додаткової апріорної інформації про коефіцієнт варіації очікуваного розподілу напрацювань до відмови можна з прийнятною вірогідністю визначати показники надійності досліджуваних об'єктів по випробуванню (спостереженню), зокрема, малої статистики (п'ять зразків напрацювань до відмови). Результати моделювання (по 100 малих вибірок для кожного типу елементів) докладно представлені в дисертації, а відносні помилки оцінок середніх напрацювань ($\tilde{\delta}$) і довірчі імовірності цих оцінок (q_2) наведені нижче у табл. 2.

Якщо вважати, що довірча ймовірність оцінки параметра форми дифузійних розподілів (коефіцієнта варіації розподілу напрацювання) q_1 за рекомендованими нормативними документами становить порядку $q_1 \cong 0,9$, тоді довірча ймовірність оцінки показників надійності (середнього напрацювання, гамма-відсоткового напрацювання, імовірності безвідмовної роботи та ін.) на підставі малої вибірки з п'яти елементів становитиме $q = q_1 \cdot q_2 \cong 0,7$. Це досить високий рівень довірчої імовірності, прийнятний в інженерній практиці.

Зауважимо, що протягом ряду останніх десятиліть довірча ймовірність оцінки інтенсивності відмов високонадійних виробів електронної техніки у зв'язку з малим числом спостережуваних відмов приймається рівною 0,6.

Результати моделювання на основі використання генератора випадкових чисел, відповідних DN-розподілу

Використовуючи розроблений генератор випадкових чисел, розподілених за DN -розподілом, задавалися генератори випадкових напрацювань з характеристиками надійності елементів (об'єктів): 1) $T_{\text{э}} = 1000$ год.; $\nu_{\text{э}} = 0,5$; 2) $T_{\text{э}} = 1000$ год.; $\nu_{\text{э}} = 0,7$; 3) $T_{\text{э}} = 1000$ годин; $\nu_{\text{э}} = 1$. На рис. 10 наведено щільності ймовірностей розподілу напрацювань до відмови, вони мають типові форми розподілів, які служили як генеральні сукупності, на основі яких моделювалися малі вибірки (по п'ять значень напрацювань).

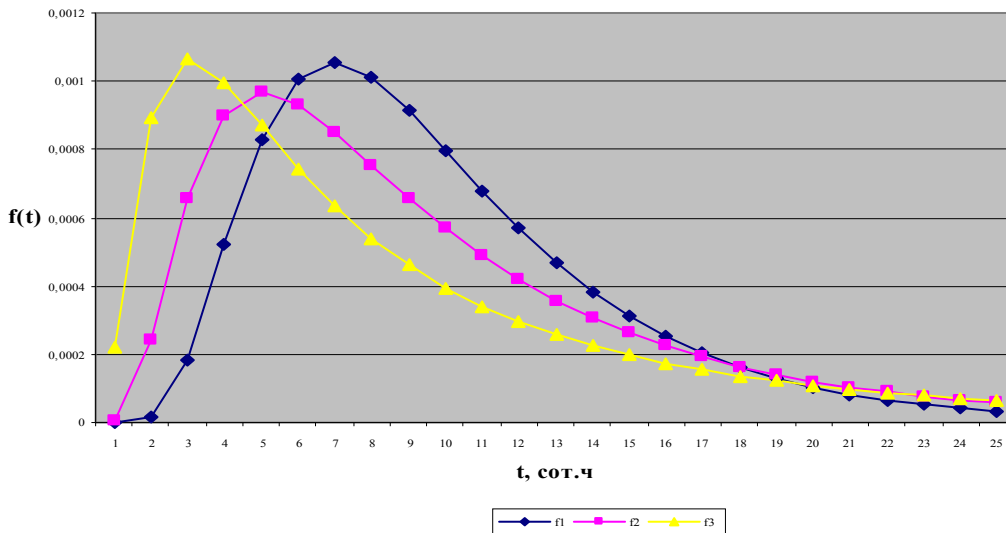


Рисунок 10 – Щільності ймовірностей розподілу напрацювань до відмови з різними коефіцієнтами варіації, де позначено: $f_1(T_{\text{э}} = 1000; \nu_{\text{э}} = 0,5)$; $f_2(T_{\text{э}} = 1000; \nu_{\text{э}} = 0,7)$; $f_3(T_{\text{э}} = 1000; \nu_{\text{э}} = 1)$

Результати моделювання малих вибірок (по сто вибірок по кожному генератору), на підставі яких визначалися показники надійності, виявили також прийнятні показники достовірності оцінок показників надійності, як і при використанні реальних експериментальних даних. Нижче наведена зведена табл. 2, в якій представлені відносні помилки ($\tilde{\delta}$) і довірчі імовірності оцінок показників надійності (q_2, q) при використанні малих вибірок напрацювань до відмови (по п'ять значень напрацювань).

Таблиця 2 – Показники достовірності оцінок показників надійності за малими вибірками (по п'ять значень напрацювань до відмови)

Характеристика	Експериментальні дані			Дані генератора випадкових напрацювань		
	$\nu = 0,56$	$\nu = 0,73$	$\nu = 1,08$	$\nu = 0,5$	$\nu = 0,7$	$\nu = 1$
$\tilde{\delta}$	0,23	0,25	0,3	0,16	0,19	0,33
q_2	0,82	0,78	0,73	0,76	0,73	0,77
q	0,75	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

З метою оцінки ефективності методів контролю, встановлених діючими стандартами та наведених вище, заснованими на дифузійних розподілах, було проведено статистичне моделювання планів і результатів контрольних випробувань конкретних об'єктів (магнітофонів). Повний варіаційний ряд даних відмов наведено у Додатку А дисертації.

Моделювання та оцінка результатів контролю при плані випробувань [NUT]

Постановка завдання. Необхідно визначити обсяг випробувань для контролю середнього наробітку до відмови одноступінчатим методом при плані випробувань [NUT].

Вихідні дані: $T_1 = 2280$ год (очікуване, контрольоване середнє напрацювання до відмови), $v=0,75$ (очікуване значення коефіцієнта варіації), $t_{и}=1140$ год.; $\eta=t_{и}/T_1=0,5$, $\alpha=\beta=0,1$, $D=2$.

Рішення 1 (На основі ГОСТ 27.410).

1) За значеннями α , β , D з табл. ГОСТ 27.410 визначаємо: $r_{пр}=14$, $t_{max}/T_{\alpha}=9,469$.

2) Визначаємо кількість зразків N , яку необхідно поставити на випробування:

$$N = \frac{t_{max}}{T_{\alpha}} \left(\frac{T_{\alpha}}{t_u} + 1 \right) = 9,469 \left(\frac{2T_1}{0,5T_1} + 1 \right) \cong 48,$$

де $T_{\alpha}=D \cdot T_{\beta}$, $T_{\beta}=T_1$, $T_{\alpha}=2T_1$, $t_{и}=0,5T_1$.

3) Моделюємо (методом Монте-Карло) вибірки з 48 напрацювань (використовуючи дані відмов магнітофонів вибірки з $N_0=96$).

4) Визначаємо кількість негативних результатів (напрацювань менше $t_{и}=1140$).

5) Рішення щодо контролю: якщо негативних наслідків менше $r_{пр}=14$, то приймають позитивне рішення (+), в іншому випадку – негативне (-) (табл. 3).

Рішення 2 (На основі використання DN -розподілу).

1) За значеннями α , β , D , v , η , використовуючи формули (5) и (6), визначаємо: $r_{пр}=8$; $N=30$.

2) Моделюємо (за методом Монте-Карло) вибірки з 30 напрацювань (використовуючи дані відмов магнітофонів вибірки з $N=96$),

3) Визначаємо кількість негативних результатів (напрацювань менше $t_{и}=1140$).

4) Рішення щодо контролю даної партії: якщо негативних наслідків менше $r_{пр}=8$, то рішення позитивне (+), в іншому випадку – негативне (-) (табл. 3).

Аналогічно було виконано моделювання та оцінено результати контролю при плані випробувань [NUr].

Порівнюючи результати статистичного моделювання планів і рішень з контролю середнього наробітку до відмови, можна констатувати, що плани контролю середнього наробітку для одних і тих же вихідних даних (α , β , D) на основі дифузійних розподілів істотно економічніші (необхідні обсяги випробувань менше в 1,6 разів у порівнянні з потрібним обсягом на основі експоненціального розподілу). При цьому рішення щодо контролю на основі дифузійних розподілів більш надійні і точні.

Таблиця 3 – Результати планування і контролю середнього наробітку до відмови за планом [NUT]

Вибірка	Вибірки "N=48"		Вибірки "N=30"	
	Число негативних наслідків	Рішення 1	Число негативних наслідків	Рішення 2
1	17	–	5	+
2	13	+	5	+
3	14	–	8	–
4	9	+	7	+
5	13	+	10	–
6	14	–	7	+
7	13	+	9	–
8	11	+	5	+
9	14	–	7	+
10	4	+	6	+
11	14	–	4	+
12	8	+	4	+
13	13	+	7	+
14	9	+	6	+
15	12	+	3	+

Четвертий розділ присвячений розробці програмних засобів моделювання випробувань, планування та оцінки параметрів розподілу, показників надійності в умовах малої статистики відмов.

Розроблена програма, названа *n_mater*, яка дозволяє обчислювати параметри закону *DN*-розподілу (μ, ν) і необхідні показники надійності, коли число відмов перевищує 6 (шість) для планів випробувань (спостережень): [NUN], [NUT], [NUR], [NRr], [NRT].

Розроблена програма, названа *CEDP*, яка дозволяє обчислювати параметр закону *DN*-розподілу μ і необхідні показники надійності при безвідмовних випробуваннях, а також коли число відмов менше 6 (шість) для планів випробувань (спостережень): [NUT], [NUR], [NRr], [NRT]. При цьому параметр форми ν *DN*-розподілу визначається апріорі згідно з пропонованими рекомендаціями. Автоматично визначається (вводиться) коефіцієнт варіації напрацювання.

Наведені інструкції, керівництво користувача і приклади розв'язання задач з використанням програм *n_mater* та *CEDP*.

ВИСНОВКИ

У дисертації запропоновано ряд методів, які дозволяють здійснювати оцінку показників надійності технічних засобів інформаційних систем в умовах малої

статистики відмов або в умовах відсутності відмов. Розроблені методи дозволяють оцінити параметри закону розподілу наробітку до відмови (на відмову), що дає можливість визначити всі необхідні показники надійності досліджуваних виробів (середній наробіток, гамма-процентний наробіток, імовірність безвідмовної роботи за задане напрацювання, залишковий ресурс та ін.). Розроблені інженерні методи дозволяють обчислювати необхідні характеристики як при ручному розрахунку, використовуючи відповідні таблиці, так і виконувати розрахунок на ПЕОМ, використовуючи спеціально розроблені програми.

Більш детально основні результати представлені нижче.

1. Проведено аналіз існуючих методів та методів експериментальної оцінки показників надійності.

Встановлено:

– використання непараметричного методу експериментальної оцінки показників надійності, а також використання рекомендованих двопараметричних функцій розподілу (Вейбулла, логарифмічно нормального, дифузійних розподілів) призводить до досить великого обсягу випробувань для необхідних значень довірчої імовірності й відносної помилки, тобто вимагає досить великих витрат на проведення таких випробувань;

– використання однопараметричного експоненційного розподілу призводить до великих погрешностей в оцінці показників надійності, які шукаємо, а також до істотного збільшення обсягу випробувань (в 1,5 і більше разів) порівняно з використанням більш адекватних двопараметричних функцій розподілу напрацювання до відмови.

2. Розроблено методи оцінки показників надійності за відсутності відмов при випробуванні (спостереженні) сукупності ідентичних зразків.

3. Удосконалено методи випробувань з метою оцінки показників надійності на основі ймовірно-фізичних моделей відмов (дифузійних розподілів) в умовах малої статистики відмов на основі використання додаткової апріорної інформації про коефіцієнт варіації розподілу наробітку до відмови (на відмову), тобто розв'язано задачу оцінки надійності в умовах, коли двопараметричні, суворо імовірнісні моделі відмов (Вейбулла, логарифмічно нормальний та ін.) не працюють через недостатність статистики відмов, необхідної для оцінки двох параметрів.

4. Розроблено методи, що дозволяють оцінити чи зробити висновки щодо контролю середнього напрацювання до відмови (на відмову), дозволяють визначити граничні інтервали (приймальний (верхній), бракувальний (нижній) рівні контрольованого показника надійності), тобто визначити відносну помилку δ або коефіцієнт D для прийнятого значення довірчої імовірності q (або ризиків α, β) в умовах малої статистики відмов і без попереднього планування випробувань (спостережень).

5. На основі досить великого експериментально-статистичного матеріалу з використанням реальних експериментальних даних про відмови, а також результатів статистичного моделювання (використання генератора випадкових величин, розподілених за заданим законом), показані працездатність розроблених методів оцінки показників надійності в умовах малої вибірки.

6. Практична цінність результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що розроблені методи оцінки показників надійності за результатами випробувань і (або) спостережень за об'єктами у процесі експлуатації, які приводять до підвищення точності оцінок показників надійності для заданих вимог щодо достовірності (довірчої імовірності й відносної помилки оцінок) або до скорочення обсягу випробувань (кількості об'єктів) для заданих вимог щодо достовірності.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Стрельніков П.В. О сертификационных испытаниях на надежность / П.В. Стрельніков // Математичні машини і системи. – 2008. – № 1. – С. 178 – 184.
2. Стрельніков П.В. О связи контрольных и определительных испытаний на надежность / П.В. Стрельніков // Математичні машини і системи. – 2008. – № 2. – С. 147 – 151.
3. Стрельніков П.В. Определение приемочного и браковочного уровней контролируемой средней наработки до отказа / П.В. Стрельніков // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. трудов XV междунар. науч.-техн. конф. – Донецк, 2008. – Т. 3. – С. 188 – 191.
4. Стрельніков П.В. Сравнительный анализ планов и результатов контроля средней наработки до отказа / П.В. Стрельніков // Системные проблемы надежности, качества, информационно-коммуникационных и электронных технологий в управлении инновационными проектами (Инноватика-2008): Материалы Междунар. конф. и Российской научной школы. – Москва: Энергоатомиздат, 2008. – Ч. 1. – С. 36 – 39.
5. Стрельніков П.В. «Прогнозирование показателей надежности средств вычислительной техники по результатам подконтрольной эксплуатации» / П.В. Стрельніков // Математичні машини і системи. – 2009. – № 1. – С. 159 – 165.
6. Стрельніков П.В. Оценка надежности при безотказных испытаниях / П.В. Стрельніков // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. XVI междунар. науч.-техн. конф. – Донецк, 2009. – Т. 3. – С. 148 – 151.
7. Стрельніков П.В. К оценке граничных уровней контролируемого показателя надежности / П.В. Стрельніков // Математичні машини і системи. – 2010. – № 2. – С. 144 – 147.
8. Стрельніков П.В. Экспериментальная оценка надежности изделий в условиях малого числа отказов / П.В. Стрельніков // Математичні машини і системи. – 2011. – № 1. – С. 141 – 146.
9. Стрельніков П.В. К оценке достоверности при сертификационных испытаниях на надежность / П.В. Стрельніков // Математичні машини і системи. – 2011. – № 3. – С. 142 – 145.
10. Стрельніков П.В. К оценке параметров формы DN-распределения в условиях единичных отказов / П.В. Стрельніков // Математичні машини і системи. – 2012. – № 1. – С. 189 – 193.

11. Стрельніков П.В. Оценивание надежности оборудования управляющих систем и машин в условиях малой статистики или отсутствия отказов / П.В. Стрельніков // УСиМ. – 2013. – № 6. – С. 49 – 52.

12. Стрельніков П.В. Разработка программного обеспечения оценивания показателей надежности при малом числе отказов / П.В. Стрельніков // Математичні машини і системи. – 2013. – № 4. – С. 198 – 203.

13. Стрельніков В.П. Оценка надежности по малой выборке при единичных отказах / В.П. Стрельніков, П.В. Стрельніков // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: междунар. сб. науч. трудов. – Донецк: ДонГТУ, 2002. – Вып. 22. – С. 49 – 53.

14. Стрельніков В.П. Оценка надежности по малой выборке с использованием дополнительной априорной информации / В.П. Стрельніков, П.В. Стрельніков // Материалы Междунар. конф. «Системные проблемы качества, математического моделирования, информационных, электронных и лазерных технологий». – Москва: Радио и связь, 2002. – Ч. 2. – С. 163 – 167.

15. Стрельніков В.П. Контрольно-определяющие испытания на надежность / В.П. Стрельніков, П.В. Стрельніков // Высокие технологии. Фундаментальные и прикладные исследования, образование: сб. трудов Пятой междунар. научн.-практ. конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» / Под ред. А.П. Кудинова, Г.Г. Матвиенко. – СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2008. – Т. 12. – С. 537.

16. Цао Ч.Ю. Оценка остаточного ресурса механических систем при отсутствии отказов / Чжи Юань Цао, Павло Валерійович Стрельніков // Материалы Междунар. конф. «Системные проблемы надежности, качества, информационно-телекоммуникационных и электронных технологий в управлении инновационными проектами (ИННОВАТИКА-2009)»: Материалы Междунар. конф. и Российской научной школы. – Москва: Энергоатомиздат, 2009. – Ч. 1. – С. 25 – 29.

17. Пранік Б.В. Сертификация на надежность ПЭВМ отечественного производства / Б.В. Пранік, П.В. Стрельніков // Математичні машини і системи. – 2010. – № 4. – С. 160 – 161.

18. Азарсков В.М. До оцінки залишкового ресурсу компонентів авіоніки при відсутності відмовлень / Валерій Миколайович Азарсков, Павло Валерійович Стрельніков // Вісник інженерної академії наук. – 2014. – № 1. – С. 28 – 32.

АНОТАЦІЯ

Стрельніков П.В. Експериментальне оцінювання надійності обладнання інформаційних систем в умовах малої статистики відмов. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, Київ, 2015.

Дисертація присвячена розробці методів оцінки технічного стану та прогнозування показників надійності в умовах малої статистики відмов. У роботі вдалося вирішити поставлені завдання:

– розроблено методи оцінки показників надійності за наявності одиничних відмов для планів випробувань (спостережень), що передбачають як одноразове, так і багаторазове цензурування статистичних даних про відмови;

– розроблено метод оцінки показників надійності при відсутності відмов при випробуванні (спостереженні) сукупності ідентичних зразків.

Розроблені методи приводять до підвищення точності оцінок показників надійності для заданих вимог щодо достовірності (довірчої імовірності та відносної похибки оцінок) або до скорочення обсягу випробувань (спостережень).

Ключові слова: надійність, відмова, модель відмов, план випробувань, визначальні випробування, контрольні випробування.

АННОТАЦІЯ

Стрельников П.В. Экспериментальная оценка надежности оборудования ИТ в условиях малой статистики отказов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Институт проблем математических машин и систем НАН Украины, Киев, 2015.

Диссертация посвящена разработке методов оценки технического состояния и прогнозирования показателей надежности на основе вероятностно-физического подхода в условиях малой статистики отказов и выявлению наиболее эффективных методов. В работе путем использования вероятностно-физических моделей отказов (диффузионных распределений) и дополнительной априорной информации с целью оценки параметра формы диффузионных распределений, совпадающей с оценкой коэффициента вариации наработки объектов, удалось решить поставленную задачу.

Применение двухпараметрических вероятностно-физических моделей отказов (диффузионных распределений) позволяет, определив априори параметр формы диффузионных распределений, преобразовать двухпараметрическую функцию распределения в однопараметрическую функцию, которая, несмотря на это, имеет типичную форму закона распределения наработки до отказа – одномодальную кривую с левосторонним смещением моды. Таким образом, это позволило решить задачи оценки надежности в условиях, когда двухпараметрические, строго вероятностные модели отказов (Вейбулла, логарифмически нормальное и др.) не работают ввиду малой статистики отказов, необходимой для оценки двух параметров.

В соответствии со сформулированной целью решены следующие задачи:

– разработаны методы оценки показателей надежности при наличии единичных отказов для планов испытаний (наблюдений), предусматривающих как

однократное, так и многократное цензурирование статистических данных об отказах электротехнических и механических изделий;

– разработаны методы оценки показателей надежности при отсутствии отказов при испытании (наблюдении) совокупности идентичных образцов как для электротехнических, так и механических изделий;

– разработаны методы, позволяющие оценить или сделать выводы по контролю средней наработки до отказа (на отказ), определить граничные интервалы (приемочный (верхний), браковочный (нижний) уровни определяемого (контролируемого) показателя надежности), то есть определить относительную ошибку δ или коэффициент D для принимаемого значения доверительной вероятности q (или рисков α, β) в условиях малой статистики отказов и без предварительного планирования испытаний (наблюдений);

– разработаны методы, которые позволяют оценить параметры закона распределения наработки до отказа (на отказ), что дает возможность определить все необходимые показатели надежности исследуемых изделий (среднюю наработку, гамма-процентную наработку, вероятность безотказной работы за заданную наработку, остаточный ресурс и др.).

На основе достаточно большого экспериментально-статистического материала с использованием реальных экспериментальных данных об отказах, а также результатов статистического моделирования (использования генератора случайных величин, распределенных по заданному закону) показаны работоспособность разработанных методов оценки показателей надежности в условиях малой выборки. По результатам статистического моделирования планов и решений по контролю средней наработки до отказа показано, что планы контроля средней наработки для одних и тех же исходных данных (α, β, D) на основе диффузионных распределений существенно экономичнее (требуемые объемы испытаний меньше в 1,6 раза по сравнению с требуемым объемом на основе экспоненциального распределения). При этом решения по контролю на основе диффузионных распределений более надежны и точны.

Практическая ценность результатов диссертационной работы состоит в том, что разработаны методы оценки показателей надежности по результатам испытаний и (или) наблюдений за объектами в процессе эксплуатации, которые приводят к повышению точности оценок показателей надежности для заданных требований по достоверности (доверительной вероятности и относительной погрешности оценок) или к сокращению объема испытаний (количества объектов) для заданных требований по достоверности.

Ключевые слова: надежность, отказ, модель отказов, риск поставщика (заявителя), план испытаний, цензурированная выборка, определительные испытания, контрольные испытания.

ABSTRACT

Strelnikov P.V. Experimental evaluation of reliability of information technology equipment in conditions of low statistical failures. – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of Cand. Tech. Sci. on a speciality 05.13.06 – information technology. – Institute of problems of mathematical machines and systems NAN of Ukraine, Kiev, 2015.

The thesis is devoted to developing methods for assessing the technical condition and forecasting of reliability in terms of low statistical failures. The managed to solve the problem:

- Developed a methodology for assessing the reliability indices by a unit test plans for failures (supervision), involving both single and multiple censoring statistics of failure;
- Developed a methodology for assessing the reliability indices in the absence of failures during testing (monitoring) set of identical samples.

Methods leading to improve the accuracy of estimates of reliability indices for the given requirements on reliability (confidential probability and relative error estimates) or to a reduction in tests (observations).

Keywords: reliability, failure, failures model, test plan, defining test.